
LAGUNAS COSTERAS Y ESTUARIOS: CRONOLOGÍA, CRITERIOS Y CONCEPTOS PARA UNA CLASIFICACIÓN ECOLÓGICA DE SISTEMAS COSTEROS*

ALEJANDRO YÁÑEZ-ARANCIBIA**

*Resultados de los proyectos de investigación auspiciados por el CONACYT, denominados "Ecología, usos, recursos y manejo de los ecosistemas costeros en el estado de Campeche (PCECBNA-021924) e interacciones ecológicas estuario-mar en la región de la laguna de Términos (PCECBNA-021925)".

**Laboratorio de Ictiología y Ecología Estuarina, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Apartado Postal 70-305, 04510 México, D.F

RESUMEN

Las clasificaciones de las lagunas costeras y estuarios sobre la base de procesos costeros, criterios geológicos, o procesos físicos, son útiles, ayudan a comprender los sistemas, pero son poco prácticas para los biólogos y los ecólogos. Estos últimos, necesitan de criterios ecológicos para comparar ecosistemas. El concepto de establecer una diagnosis ecológica de un sistema natural debe ser prioritario y representa el corolario de la integración, la interpretación y la síntesis de investigaciones multidisciplinarias. Sólo mediante la diagnosis ecológica es posible tener un panorama real del medio ambiente. Por lo tanto, ecosistemas con diagnosis parecidas en tiempo y espacio, presentan afinidad ecológica y se plantea la hipótesis que pueden ser reunidos en algún grupo a modo de clasificación. La geomorfometría, los mecanismos de circulación, el comportamiento químico, los mecanismos de producción de materia orgánica y la organización biológica de las comunidades, son fundamentales en el concepto de diagnosis ecológica planteado. Se discute el desarrollo cronológico de las clasificaciones clásicas y se presentan elementos para la idea de clasificaciones ecológicas.

INTRODUCCIÓN

A partir del trabajo de Teal (1962), ha habido un incremento constante de producción científica sobre ecología estuarina. Numerosos artículos y libros han enriquecido el conocimiento de la zona costera de manera permanente y—en consecuencia—cada vez es más controvertido el análisis de conceptos y la definición de hipótesis. Cuando se ha intentado un balance de conocimientos en periodos largos de tiempo, surgen nuevas interrogantes, son evidentes las carencias y se sugieren nuevas líneas de investigación. Un ejemplo de esto es la monografía de Nixon (1980). Tradicionalmente la literatura es abundante en estudios de estructura del ecosistema describiendo sus componentes bióticos y a veces ambientales.

Menos abundante es la literatura a nivel integral del ecosistema analizando estructura y función para producir síntesis y modelos ecológicos ligados directamente con la interpretación y el manejo, de estas áreas; como ejemplo un trabajo pionero es el de Day *et al.* (1973). Este trabajo en Louisiana ha inspirado toda una línea de investigación que ha producido abundante literatura en Norteamérica, Europa y América Latina.

Es interesante notar que desde los trabajos de Teal (1962) y Schelske y E. P. Odum (1962) se ha trabajado intensamente en torno a ciertas hipótesis que con el tiempo se han hecho clásicas. Por ejemplo: 1) los ecosistemas estuarinos son altamente productivos, 2) son ecológicamente complejos, 3) son ecológicamente estables, 4) los pantanos asociados a estuarios son claves en la productividad del ecosistema por la producción de detritus y como áreas de crianza, 5) los estuarios exportan detritus, nutrientes y organismos a ecosistemas vecinos, 6) la estructura

trófica del detritus es tanto o más importante que la del pastoreo, pero ambas son complejas y están ligadas, 7) los estuarios y pantanos asociados estructural y funcionalmente a la plataforma continental contribuyen significativamente a la productividad marina costera. Existen otras hipótesis en torno a los estuarios como sistemas ecológicos y normalmente todas están interrelacionadas. No es posible en este artículo discutir las, pero se sugiere consultar—por su fácil acceso los libros de Day et al. (1987) y Yáñez-Arancibia (1985, 1986) para complementar estos aspectos.

Puede notarse que las hipótesis sobre clasificaciones de estos ecosistemas son menos claras y más que hipótesis de clasificación, lo que existe en la literatura son puntos de vista y criterios de clasificaciones en los cuales hay una evidente carencia de enfoques biológicos y ecológicos integrales. El objetivo principal de este trabajo es sintetizar los criterios de clasificación de lagunas costeras y estuarios, comentándolos en orden cronológico, para fundamentar y discutir los elementos que sostengan una clasificación ecológica. Parece importante contribuir con criterios razonables sobre este tópico, que aporten especulaciones válidas para sostener hipótesis atractivas en el desarrollo del conocimiento. Los ecólogos necesitan nuevas clasificaciones para comparar ecosistemas, sobre la base de integración, interpretación y síntesis de investigaciones multidisciplinarias.

CONCEPTOS INICIALES Y TÉRMINOS DE REFERENCIA

Los elementos que se usan para denominar ecosistemas costeros incluyen una amplia gama de términos técnicos. En esta sección se analizan definiciones y conceptos que enmarcan los límites de la discusión planteada para clasificar ecológicamente sistemas lagunares-estuarinos.

Pritchard (1967) define un estuario como "cuerpo de agua costero semicerrado con una conexión libre con el mar y dentro del cual el agua de mar se diluye significativamente con el agua dulce que proviene del drenaje terrestre". Ciertamente uno de los atributos característicos más importantes en áreas costeras es la acción de la marea. La definición de Pritchard no hace mención específica a la marea, aunque la mezcla de agua de mar con el agua dulce implica esto. Sin embargo, existen diversos mares sin efecto de mareas (como el Mediterráneo) en los cuales el agua de mar y el agua dulce se mezclan en el litoral. También existen estuarios en regiones semiáridas los cuales no reciben agua dulce por largos periodos de tiempo y, a veces como en la costa de Baja California, el Pacífico de México, Australia occidental y África, los estuarios pueden estar bloqueados por barreras arenosas, de manera que están aislados efímeramente del mar. En otras regiones los límites de la marea pueden llegar muchas decenas de kilómetros más arriba de los límites de intrusión de sal. Esto es una limitante de la definición de Pritchard que la ecología ha detectado claramente. Por lo tanto, cualquier definición específica de estuario excluiría áreas costeras estuarinas, con el enfoque que actualmente los estudia la ecología estuarina.

En un intento de superar las limitaciones de la definición de Pritchard, Fairbridge (1980) da un concepto más comprensivo de un estuario: "un estuario es un brazo del mar que se extiende dentro del valle de un río tan lejos como lo permita el límite superior de la marea, estando generalmente dividido en tres sectores, a) el estuario bajo o marino libremente conectado con el mar abierto, b) el estuario medio sujeto a fuerte mezcla de agua de mar y de agua dulce y, c) el estuario superior o fluvial, caracterizado por el agua dulce pero sensible a la acción diaria de la marea". Los límites entre estos sectores son variables y sujetos a constantes cambios en la descarga fluvial. La definición de Fairbridge también excluye algunas características geomórficas como lagunas, deltas, sondas y estuarios no influidos por mareas; pero su enfoque puede ser claramente ligado con la ecología.

Lankford (1977) define una laguna costera como "depresión de la zona costera por debajo del promedio mayor de las mareas más altas, teniendo una comunicación con el mar permanente o efímera pero protegida de las fuerzas del mar por algún tipo de barrera". La principal ventaja del concepto de Lankford es que en esta definición pueden incluirse diversas depresiones costeras como bahías semicerradas, lagunas, esteros, estuarios, sondas, caletas, etcétera. El concepto es técnicamente geológico al referirse a "depresiones" pero tiene la ventaja de incluir el aspecto de la marea. Sin embargo, la limitante principal es la carencia de los elementos fluviales y de salinidad.

Es fácil visualizar que desde el punto de vista físico-ambiental las lagunas costeras y estuarios son dinámicos, variables, sistemas extremadamente abiertos que reciben un alto nivel de aporte de energía física y son sistemas ecológicos persistentes en la zona costera a nivel mundial, donde la geomorfología, el tamaño y el funcionamiento, son importantes para los niveles de productividad. Las definiciones de estuarios y lagunas antes señaladas, destacan características físicas y geológicas. Esto es el reflejo de los autores que han hecho tales definiciones puesto que son oceanógrafos físicos o geólogos. Por lo tanto, cuando se use el término de ecología estuarina, sistemas estuarinos, o medio ambiente lagunar-estuarino, debe ser en un sentido ecológico general, más que como cualquier característica geológica costera específica.

Cada laguna costera y estuario difiere de otro. Estas diferencias fundamentales incluyen forma y tamaño, rango de mareas, escurrimiento o arroyos tributarios, clima, número y tamaño de las bocas y tipo de aporte sedimentario. Las diferencias en química, biología y ecología, se acentúan con estas diferencias físico-ambientales. No obstante estas variaciones, estos ecosistemas varían sobre un tema en común y con ciertas precauciones pueden formularse generalizaciones que pueden aplicarse a la mayor parte de estos ecosistemas. Estas generalizaciones han probado ser útiles en guiar estudios de tales áreas como una ayuda para sus interpretaciones. En este trabajo se pretende destacar las "características comunes" más que las divergencias. Para lograr esto es fundamental tener flexibilidad mental y visión de perspectiva ecológica que permitan caracterizar un patrón general de elementos comunes.

El concepto de estuario sobre bases y condiciones hidrodinámicas y el concepto de laguna costera sobre bases geomorfológicas, determinan que "una laguna costera tenga características ambientales predominantemente estuarinas, sin embargo, un estuario no siempre es una laguna costera" (Yáñez-Arancibia, 1986). Esto se refiere a que las características de mezcla de agua de mar y de agua dulce con todas las opciones de gradientes de salinidad, se presentan en los dos tipos de ecosistemas, pero el origen geológico y la geomorfología no es necesariamente compartida. Lo interesante es que al compartir condiciones físico-ambientales, se aproximan a tener similitudes ecológicas. Desde el punto de vista ecológico, las lagunas costeras y estuarios constituyen ecosistemas afines y se pueden hablar de un medio ambiente lagunar-estuarino (figura 1). El marco físico-ambiental (clima, geomorfología, presencia de agua, sales, etcétera) es el primer determinante del tipo de ecosistema que se desarrolla en una localidad particular. La constancia y regularidad del medio ambiente físico es importante en determinar el grado de variabilidad de las condiciones ambientales como mecanismo de control de las sucesiones ecológicas que ocurran; siendo también clave en modular la estructura y función de las comunidades.

Con esta perspectiva ecológica, Day y Yáñez-Arancibia (1982) establecen el concepto de medio ambiente lagunar-estuarino de la siguiente manera: "es un ecotono costero, conectado con el mar de manera permanente o efímera. Estos ecosistemas son cuerpos de aguas someros, semicerrados, de volúmenes variables dependiendo de las condiciones locales climáticas e hidrológicas. Tienen temperaturas y salinidades variables, fondos predominantemente fangosos, alta turbidez y características topográficas y de superficies irregulares. La flora y la fauna presentan un alto grado de adaptaciones evolutivas a las presiones ambientales y su origen es marino, dulceacuícola y terrestre. La biota de estos ecosistemas costeros es variada en flora y fauna; esta biota es directamente importante para el hombre ecológica y económicamente, en especial la biota dependiente estuarina. En estas condiciones naturales, el ecosistema funciona en base a una blanceada matriz de interrelaciones bióticas; este balance natural es también altamente vulnerable al impacto del hombre.

La complejidad de la matriz biótico-ambiental, las alternativas del flujo energético y las adaptaciones biológicas de los organismos otorgan a este sistema características de estabilidad ecológica en un ambiente físicamente variable, pero frágil a los cambios inducidos por el hombre. La productividad se debe a numerosos subsidios de energía y a diferentes alternativas programadas de la actividad de los productores primarios y consumidores. Procesos físicos y biológicos enriquecen estos ecosistemas". La figura 1 complementa este concepto.

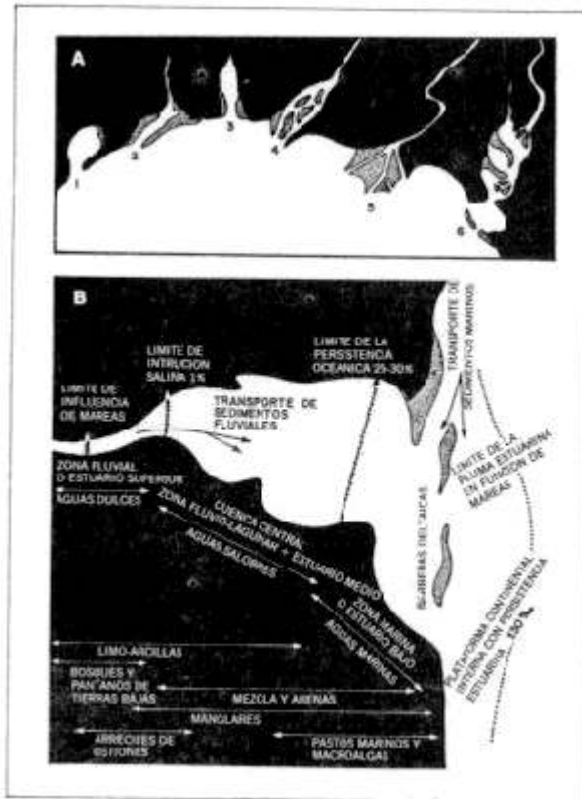


Figura 1A. 1) Sistema lagunar típico, 2) Sistema lagunar-estuarino, 3) Sistema estuarino, 4) Sistema deltáico estuarino, 5) Sistema teltáico estuarino, 6) Sistema fluvio-lagunar-deltáico Diagramas 1 a 5 adaptados de Kjerfve (1987) En: Day, Hall, Kemp y Yáñez-Arancibia (1987).

Figura 1B. Medio ambiente lagunar-estuarino. Diagrama basado en conceptos de Day y Yáñez-Arancibia (1982) y en Kjerfve (comunicación personal). El límite superior es la influencia de la marea y no el límite de intrusión de sal y el límite inferior es la influencia de la pluma estuarina en la plataforma interna. Estas fronteras son zonas de transición, funcionalmente activas y varían con la época del año, condiciones climáticas y mareas. El gradiente de los sedimentos y concentración de sal tiene tres zonas principales: el estuario superior dulceacuícola bajo acción directa de los ríos, el estuario medio o zona de mezcla, y el estuario bajo influido directamente por el mar.

Los ecosistemas a menudo han sido analizados en términos de su estructura y función. Las partes o componentes constituyen la estructura y las interacciones entre estas partes, es decir los procesos, son la función. Dilucidar la estructura y función de un ecosistema lagunar-estuarino, es la ruta lógica para caracterizar e interpretar la ecología del sistema. Antes de describir el concepto de ecología estuarina, es importante describir el contexto de la ecología. Margalef (1968) define la ecología como "el estudio de los sistemas al nivel en el cual los individuos o todos los organismos pueden ser considerados elementos de interacción, tanto entre ellos mismos, o con una matriz ambiental sutilmente organizada; los sistemas a este nivel se denominan ecosistemas y la ecología es la biología de los ecosistemas". La definición de Margalef es la más apropiada en el sentido de enfocar la ecología estuarina y sus interacciones entre organismos específicos y el medio ambiente. Ha habido dificultades en encontrar un concepto apropiado de ecología estuarina y esto es inherente por lo heterogéneo de las definiciones de lagunas costeras y estuarios que enmarcan el ecosistema en el cual ocurren los procesos en estudio. Sin embargo, entendiendo el concepto de medio ambiente lagunar-estuarino, es fácil entender la ecología estuarina.

Con este enfoque, Yáñez-Arancibia (1986) define la *ecología estuarina* como "una comprensiva área de las ciencias, a la que conciernen las propiedades y características físicas y químicas del agua, las fuerzas y procesos que forman y mantienen estas áreas y sistemas, y las relaciones entre el agua —por ejemplo gradientes de

salinidad—, la depresión de la cuenca, el clima, los organismos vivientes de la comunidad y los movimientos de la materia y energía entre los pantanos y el mar, a través del sistema costero". Es decir, la ecología estuarina es la biología de los sistemas estuarinos.

CRONOLOGÍA Y CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN

Ha habido diversos intentos de clasificar la zona costera y en ella sus lagunas, estuarios, bahías, playas y costas rocosas. Lankford (1977, 1978) clasifica las lagunas costeras de acuerdo al origen geológico y reconoce los siguientes tipos: 1) erosión diferencial, 2) sedimentación terrígena diferencial, 3) frente de barrera, 4) orgánicas y, 5) tectónico-volcánicas (figura 2). La clasificación de las lagunas costeras normalmente se sobrepone o se incluye en la clasificación de los estuarios.

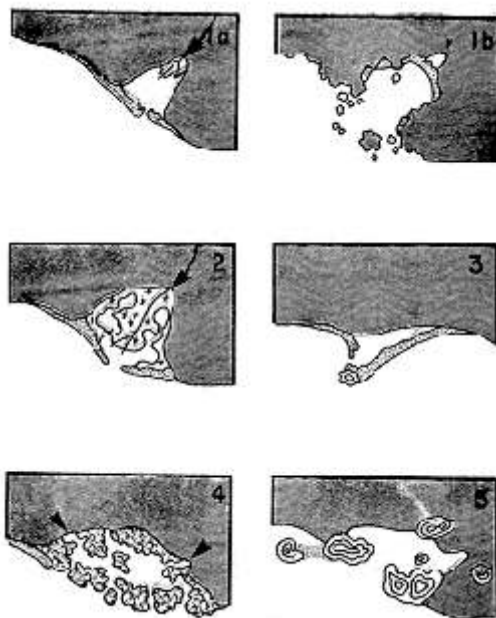


Figura 2. Clasificación de lagunas costeras de acuerdo a su origen geológico, extractado según Lankford (1977) la y 1b. Erosión diferencial; depresión formada por procesos no marinos durante el más bajo nivel del mar. 2. Sedimentación terrígena diferencial; lagunas costeras asociadas con sistemas fluvio-deltáicos producidos por sedimentación irregular y/o superficies de subsidencia debido a efectos de compactación/carga 3 Frente de barrera en la plataforma interna; las depresiones están en el margen interno inundado de la plataforma continental bordeadas por la superficie de la sierra sobre sus márgenes internos, protegidas del mar por diversas barreras arenosas producidas por olas y corrientes 4 Orgánicas; depresiones producidas por el crecimiento de barreras de coralgas o manglares sobre la plataforma continental interna desde la última estabilización del nivel del mar. 5. Tectónicas; depresiones y/o barreras producidas por fallas, plegamientos o vulcanismo en la zona costera, en un pasado geológico independiente de la historia del nivel mar.

Existen diversos sistemas de clasificación de los estuarios. Pritchard (1967) los clasifica desde el punto de vista geomorfológico al igual que Dyer (1973) y numerosos autores recientes, reconociendo: 1) valles fluviales inundados, 2) estuarios del tipo fiordo, 3) estuarios formados por bancos de arena o barreras y, 4) estuarios formados por procesos tectónicos. A esta misma clasificación E. P. Odum (1972) agrega una quinta categoría, los estuarios de deltas de río (figura 3).

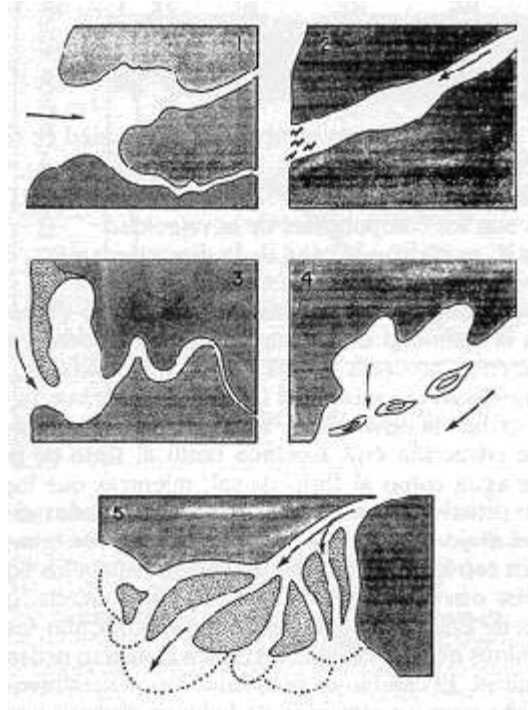


Figura 3. Clasificación geomorfológica de estuarios. Diagramas basados en conceptos de Pritchard (1967), E.P. Odum (1972) y Fairbridge (1980). 1. Valle de Río Inundado; perpendiculares a la costa, amplias bocas, cuenca en forma de V, directo acceso al mar, profundidades medias, uno a más ríos. 2. Tipo fiordos; perpendiculares o diagonales a la costa, cuenca en forma de U. directo acceso al mar pero presentan en la boca una solera de depositación morrénica, profundos, con ríos y/o glacial en el extremo continental. 3. Frente de barrera arenosa; paralelos a la costa, cuenca amplia y somera, limitado contacto con el mar, con o sin ríos. 4. Origen tectónico; paralelos a la costa, cuenca y bocas amplias, bancos de arena entre conos rocosos, profundos, con o sin ríos. 5. Deltas de ríos; perpendiculares a diagonales a la costa, cuenca de canales y alta sedimentación, someros con un caudaloso río.

La mezcla de agua dulce que llega al estuario por los ríos y el agua que proviene del mar origina la distribución de la densidad que determine los esquemas característicos del patrón de circulación de los estuarios. La densidad de las aguas naturales aumenta con el contenido de sal. De manera general, la salinidad de un estuario aumenta en forma más o menos regular desde la cabecera hacia el mar, aumentando también con la profundidad. Como consecuencia la densidad de las aguas estuarinas aumenta hacia el mar y con la profundidad. Por lo tanto, los tipos de circulación y estratificación del agua proporciona una base para la clasificación hidrodinámica de los estuarios y Pritchard (1952, 1955, 1967) propone 1) estuario altamente estratificado o de cuña de sal, 2) estuario parcialmente mezclado o moderadamente estratificado, 3) estuario completamente mezclado o verticalmente homogéneo; agregando E. P. Odum (1972) una cuarta categoría, el estuario hipersalino (figura 4).

De acuerdo a los gradientes y estratificaciones salinas, Emery y Stevenson (1957) y Hedgpeth (1957) consideran dos tipos de estuarios: 1) el estuario positivo, normal, hiposalino y, 2) el estuario negativo, antiestuarino, hipersalino (figura 5).

Parece evidente que tanto la clasificación de Pritchard como la clasificación de Emery y Stevenson, caracterizadas por la hidrodinámica —esto es, patrón de circulación, estratificaciones y gradientes físicos— influyen en la distribución de los organismos vivos, pero mientras haya comunidades adaptadas a este tipo de ambientes, la producción biológica no tiene porqué abatirse.

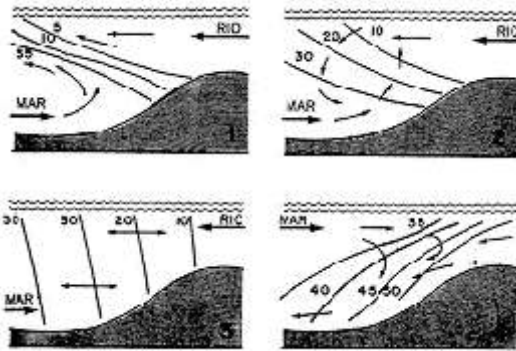


Figura 4. Clasificación hidrodinámica de estuarios. Diagramas basados en conceptos de Pritchard (1952,1955,1967) y E.P. Odum (1972). 1. Altamente estratificados o de cuña de Sal; el flujo del río predomina sobre el efecto de la marea y la estratificación es marcada. 2. Parcialmente mezclado o moderadamente estratificado; las influencias dulceacuícolas y marinas son aproximadamente iguales, y la mezcla turbulenta por mareas atenúa la estratificación. 3. Completamente mezclado o verticalmente homogéneo; el gradiente se desplaza con la acción de la marea. 4. Hipersalino; el efecto marino es mucho mayor que la débil influencia dulceacuícola, alta evaporación. Se señalan los valores de las isohalinas.

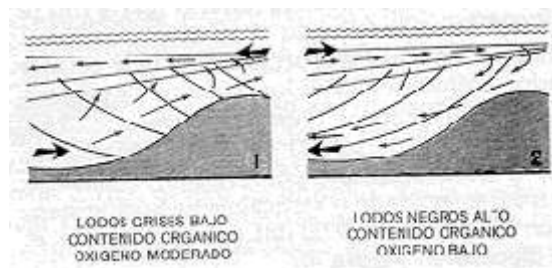


Figura 5. Clasificación de estuarios sobre gradientes y estratificaciones salinas. Diagramas basados en conceptos de Emery y Stevenson (1957) y Hedgpeth (1957). 1 Positivo; normal, hiposalino. 2 Negativo, antiestuarino, hipersalino

Es interesante destacar que los estuarios son accidentes geológicos transitorios, propios de un periodo geológico relativamente breve que siguió a la elevación del nivel del mar. Los estuarios de las planicies costeras, a lo largo de las costas de todo el orbe, han sido formados por ríos que abrieron valles a través de estas planicies durante el último periodo glaciario, que concluyó hace 10 o 12 mil años. En aquel entonces el nivel del mar estaba a unos 100 metros por debajo del nivel actual, de donde fue subiendo en bruscos ascensos. En fechas poco precisas que varían entre 4 y 8 mil años, después del último ascenso del nivel del mar, las corrientes de marea y la circulación estuarina no influida por las mareas, redistribuyeron el sedimento aportado a los estuarios por los ríos, dando así a cada estuario una conformación geomorfológica similar a lo que se ve actualmente.

Han sido variados los intentos de clasificar la zona costera con sus lagunas y estuarios. Stommel (1951) propone una clasificación basada en las causas de los movimientos de las aguas en la cuenca del sistema, destacando que la circulación de las aguas de distintos sistemas depende de algunos de estos factores o combinación de ellos: vientos, mareas, ríos, corrientes litorales. Esta es una de las clasificaciones preliminares que agruparía a estuarios que tuvieran las mismas causas de la circulación en la cuenca principal.

Las condiciones de salinidad han fundamentado dos clasificaciones. Emery *et al.* (1957) considera, de acuerdo a los estados de equilibrio de agua y de la sal: 1) estuario positivo y, 2) estuario negativo. Con un enfoque parecido, Pritchard (1955) y Cameron y Pritchard (1963) consideran una clasificación basada en la *ecuación de balance salino* o *ecuación de advección/ difusión de sal*. Esta clasificación se ha inspirado en el enunciado de Stommel (1951), y puede expresarse en términos oceanográficos como sigue:

$$\frac{ds}{dt} = -u \frac{ds}{dx} - v \frac{ds}{dy} - w \frac{ds}{dz} + \frac{d}{dx} \left\{ K_x \frac{ds}{dx} \right\} + \frac{d}{dy} \left\{ K_y \frac{ds}{dy} \right\} + \frac{d}{dz} \left\{ K_z \frac{ds}{dz} \right\}$$

donde : $\frac{ds}{dt}$ es la tasa de cambio de la salinidad en el momento, s es la concentración de sal

u , v y w son los componentes de la velocidad K_x , K_y y K_z es la difusibilidad de la dirección axial.

Ocurre que el tiempo de la tasa de cambio observada en la salinidad en un punto fijo es causada por dos diferentes procesos físicos, advección y difusión. Los primeros tres términos del lado derecho de la ecuación describen la advección y los tres últimos la difusión. La advección está asociada tanto al flujo de la masa de agua como al flujo de sal, mientras que los procesos difusivos o no advectivos están asociados sólo con el flujo de sal. Los procesos advectivos están asociados con los patrones de circulación neta, y los no advectivos con el régimen de turbulencia, o mezcla, o procesos de Eddy. En cualquier estuario particular los seis términos no necesariamente tienen el mismo orden de magnitud. El cambio en la salinidad es generalmente pequeño pero en términos de balance dinámico es muy grande. La clasificación deriva en agrupar todos los estuarios en los cuales los cambios de salinidad son producidos por las mismas causas, es decir, los mismos términos en la ecuación de balance salino. Desde este punto de vista el resultado es una secuencia de tipos estuarinos, cada uno con diferente patrón de circulación y cada uno pasando de un tipo a otro por condiciones cambiantes.

Combinando la *circulación vs. estratificación* en un diagrama ad hoc, Hansen y Rattray (1966) y Kjerfve (1978, 1987) agrupan en forma diferente a: 1) lagunas costeras, donde la son verticalmente mezcladas y 1 b verticalmente estratificadas, siendo común para ambas la carencia de circulación gravitacional; 2) estuarios parcialmente mezclados, donde 2a son débilmente mezclados y 2b es una subclase caracterizada por una circulación gravitacional razonablemente bien desarrollada y una mezcla longitudinal tanto por mecanismos dispersivos como advectivos; 3) entradas de mar tipo fiordos, dominados por procesos advectivos de mezcla, y la mayoría muestra una fuerte estratificación y una circulación gravitacional bien desarrollada y, 4) estuarios altamente estratificados, con una limitada mezcla vertical y ausencia o débil circulación gravitacional (figura 6). Esto está muy vinculado con los niveles de energía física del sistema. Esta clasificación dinámica permite observar cómo un estuario dado puede cambiar su estructura física durante el año. El parámetro de estratificación es la relación entre la diferencia de la salinidad de fondo a superficie y la salinidad de fondo promedio. Cada una de estas salinidades es primero promediada sobre uno o más ciclos de mareas completos. El parámetro circulación es del mismo modo la relación entre el flujo superficial neto y el flujo de agua dulce. El flujo superficial neto es tomado como un valor representativo a través de una sección estuarina desechando los efectos laterales y asumiendo un estado de equilibrio. El flujo de agua dulce es simplemente la descarga de agua dulce dividida por la sección transversal del área. La clasificación de Hansen y Rattray representa una implementación basada en esquemas de clasificaciones previas y permite comparar directamente la dinámica estuarina y los procesos de mezcla entre los sistemas. También permite hacer algunas generalizaciones entre diferentes estuarios.

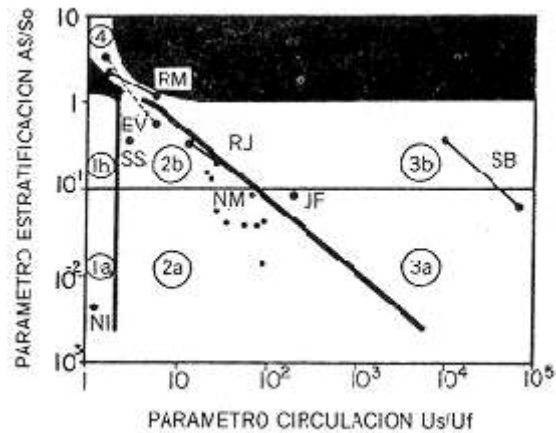


Figura 6. Agrupación de ecosistemas lagunares-estuarinos (ver figura 1) basado en circulación vs estratificación según Hansen y Rattray, modificado por Kjerfve (1978) En: Day, Hall, Kemp y Yáñez-Arancibia (1987) La representación es esquemática para la circulación gravitacional vertical (la línea gruesa es un sistema parcialmente mezclado sin estrés de vientos) La línea punteada representa el perfil de la circulación con estrés de vientos actuando hacia abajo del estuario con una magnitud t . Las otras líneas representan el perfil de velocidad vertical neta con el estrés de viento actuando hacia arriba del estuario a magnitud t y $2t$. Los ecosistemas más estratificados se encuentran en el sector izquierdo superior. Ejemplos: RM = Río Mississippi, EUA; SS = Río Sur Santee, Carolina del Sur, EUA; NI = Boca Norte Carolina del Sur, EUA; EV = Estuario Vellar, India, RJ = Río James, VA, EUA; NM = Estrecho de Mersen, UK; JF = Estrechos de Juan de Fuca, Wa, EUA; SB = Bahía Silver, AK, Alaska.

Recientemente Kjerfve (1986) compara la oceanografía de diversas lagunas costeras. En ese trabajo surgen fundamentos básicos para entender que las características de mezcla de agua de mar y de agua dulce —desde hipo hasta hipersalinidad— se presentan tanto en estuarios típicos como en lagunas costeras típicas, sin que exista necesariamente el mismo origen geológico ni la misma geomorfología. Desde ese punto de vista, el planteamiento es compartido con Day y Yáñez-Arancibia (1982) y Yáñez-Arancibia (1986) (ver figura 1). El enfoque de Kjerfve (1986) tiene tres aspectos relevantes, primero la visión ecológica de un oceanógrafo físico; segundo, la flexibilidad para considerar un ecosistema desde el punto de vista lagunar -estuarino lo cual tiene más perspectivas que la rígida clasificación de Pritchard (1952), y tercero las lagunas costeras que él compare para diversas latitudes tropicales, templadas-cálidas y frío-templadas presentan diferencias marcadas entre sí, pero similitudes—en algunas de ellas—en términos de dinámica, comportamiento estacional, y respuestas a los procesos costeros. Este último aspecto es relevante para proponer una clasificación *geomorfológica/dinámica* que agrupa: 1) lagunas obstruidas, las cuales pueden ser sistemas predominantemente dulceacuícolas en regiones de alta precipitación y escurrimiento, pero también en regiones áridas pueden cerrarse por largos periodos e incluso alcanzar hipersalinidad; 2) lagunas restringidas, las cuales tienen un comportamiento intermedio entre las obstruidas y las altamente activas por barreras múltiples; y 3) lagunas de barreras múltiples, las cuales se conectan al mar adyacente a través de varias entradas o canales en una barrera incompleta de diversas islas arenosas o de arrecifes de coral (figura 7).

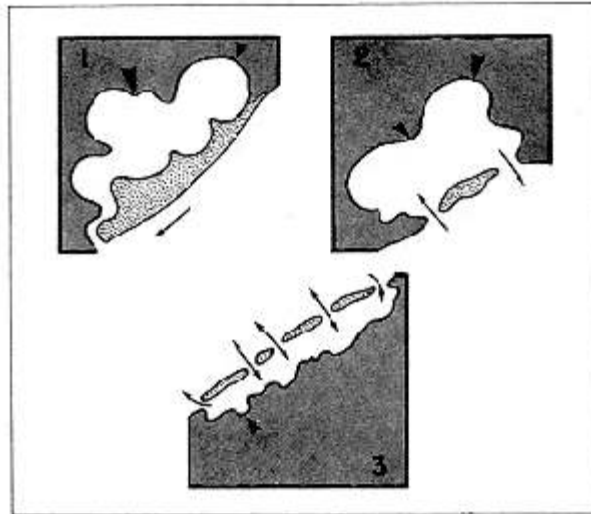


Figura 7. Clasificación geomorfológica/dinámica de Lagunas costeras. Diagramas basados en conceptos de Kjerfve (1986). 1. Lagunas restringidas; oleaje de energía media o baja, mareas pequeñas o medianas, barreras arenosas. 3 Lagunas de barreras múltiples; oleaje de energía baja o media, mareas variables, pequeñas o grandes, barreras arenosas o coralinas.

Recientemente, Hakanson et al. (1986) establece que la morfometría regula el intercambio de agua en ecosistemas lagunares-estuarinos, fenómeno que puede ser medido por ecuaciones hidrodinámicas. Esta hipótesis pudo ser establecida trabajando en fiordos, bahías abiertas, estuarios y archipiélagos en las costas del Mar del Norte.

Hasta este momento, las clasificaciones analizadas son las propuestas por oceanógrafos físicos o geólogos, útiles y prácticas en términos generales pero con muchas limitaciones para biólogos y ecólogos de sistemas. ¿Qué sucedería si estas clasificaciones incluyeran la dinámica geoquímica y la biología de los sistemas estuarinos, que son tan influidas por las características geológicas y físicas básicas? Muy pocas clasificaciones tienen ese necesario enfoque ecológico y la línea de investigación está abierta para estudios futuros. Algunos avances al respecto son los siguientes.

H. T. Odum y Copeland (1972, 1974) clasifican a los estuarios en relación al nivel de energía del ecosistema. La clasificación por ellos propuesta incluye además de los estuarios, todos los diversos tipos de sistemas ecológicos costeros: 1) los sistemas físicamente expuestos de gran extensión latitudinal, 2) ecosistemas árticos naturales, con presión por el hielo, 3) ecosistemas costeros templados naturales, con programación estacional, 4) ecosistemas costeros tropicales naturales, de alta diversidad y, 5) constitución de nuevos sistemas asociados al hombre (figura 8). Esta clasificación parece útil en términos ecológicos amplios. Las ideas propuestas por H. T. Odum y Copeland establecen que el estatus de un ecosistema es un balance entre energías —las que construyen estructuras y orden—. Las primeras se denominan fuentes de energía o *energía de orden* y las últimas energías de presiones o *energías de desorden*.

Esta idea se muestra diagramáticamente en la figura 8. La distinción entre fuente de energía y energía de estrés es el concepto central en esta clasificación de sistemas. Sin embargo, la distinción puede ser muy sutil puesto que para ciertos organismos, lo que es estrés, para otros puede ser fuente de energía, y esto es específico para cada sistema o subsistema en consideración. Por lo tanto, lo significativo es el balance entre ambas energías. Si la fuente de energía es más grande que el estrés, el sistema construirá y mantendrá un orden. Por el contrario, si el estrés es mayor, habrá pérdida de la estructura y del orden y mayor disipación de la energía.

Horn y Allen (1976) proponen una clasificación de estuarios basada en una combinación de parámetros abióticos y biológicos, como: la amplitud de la cuenca, la amplitud de las bocas, y la diversidad ictiofaunística y sus asociaciones de poblaciones. Los resultados de Horn y Allen se resumen en la figura 9. En la primera parte se observa la relación del número de especies y la superficie de las áreas estudiadas señalándose una correlación positiva altamente significativa, esto en una relación logarítmica. La segunda parte de la figura 9 ilustra un dendrograma que agrupa las áreas en estudio afines con la presencia/ausencia de especies de peces, señalándose que los distintos estuarios estudiados no sólo pueden agruparse por su superficie y las especies de peces presentes, sino también por la amplitud de sus bocas que los conectan directamente con el mar abierto. De esa manera es evidente un grupo de ecosistemas del norte de la costa de California y otro del sur.

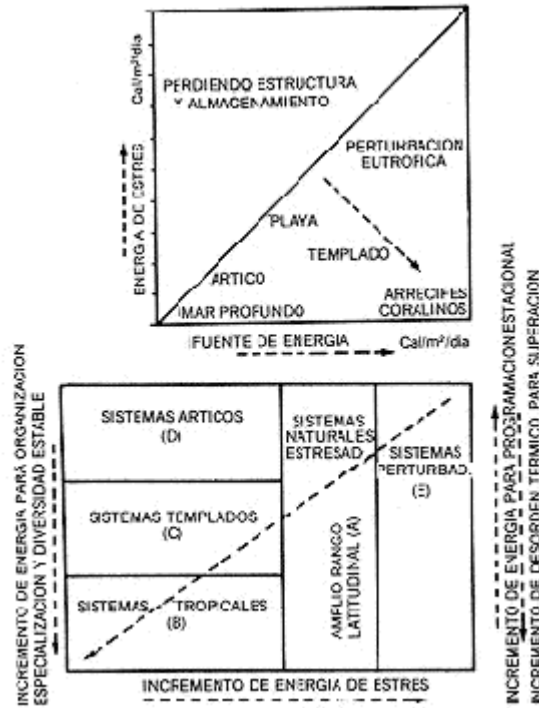


Figura 8. El diagrama superior muestra al ecosistema como una función de sus fuentes de energía útil y disminución de estrés. El espacio entre los puntos señalados y la línea diagonal es una medida de la energía para la organización estructural y la diversidad. El diagrama inferior muestra las relaciones de las principales categorías de ecosistemas clasificados por fuentes de energía, en relación a factores latitudinales y otros estrés (según H.T. Odum y Copeland, 1972, 1974). Explicación en el texto.

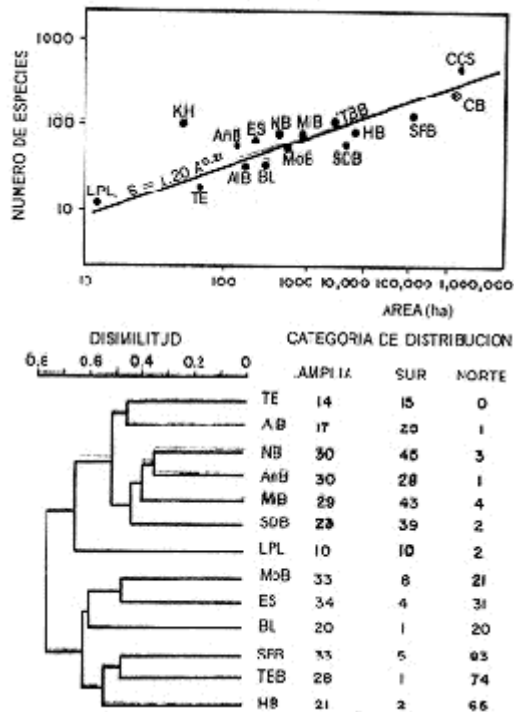


Figura 9. Agrupación de trece sistemas costeros en California según Horn y Allen (1976) relacionando el número de especies y el área superficial. TE = Estuario Tijuana; SDB = Bahía San Diego; MiB = Bahía Misión; LPL = Laguna los Peñasquitos; NII = Bahía Newport; AnB = Bahía Anaheim; AIB = Bahía Alamitos; MoB = Bahía Morro; ES = Estuario Elkhorn; SFB = Bahía San Francisco; BL = Laguna Bolinas; TBB = Bahía Tomales Bodega; HB = Bahía Humboldt Puntos de referencia son CCS = Plataforma Continental de California, KH = Puerto King y CB = Bahía Chesapeake. La ecuación está basada sólo para los sistemas costeros de California, $r = 0.93$ ($p < 0.01$). El dendrograma agrupa dos conjuntos de sistemas costeros basados sobre presencia/ausencia de especies de peces usando el índice métrico de Camberra de disimilitud y clasificando grupos promedio. Las especies de cada sistema costero son colocadas en tres categorías de distribución basada en una tabla de ecosistemas vs especies generadas con el análisis de "cluster"

Este enfoque de considerar a los peces como parte funcional y estructural en aspectos integrales de la ecología costera y, más aún, en aspectos de clasificaciones ecológicas costeras ha tomado en la actualidad un papel relevante. El fundamento es que en la zona costera, el papel ecológico de los peces en términos energéticos, es particularmente significativo, y su capacidad de desplazamiento intra e inter-ecosistemas les permite actuar como reguladores energéticos (Yáñez-Arancibia, 1986). El mismo enfoque de Horn y Allen fue considerado inicialmente por Yáñez-Arancibia y Nugent (1976), quienes consideran además la geomorfología, los niveles de producción de materia orgánica y la organización biológica de las comunidades en particular la complejidad de la estructura trófica.

El objetivo principal de este artículo es retomar los conceptos primarios de Yáñez-Arancibia y Nugent (1976) para fundamentar el enfoque de diagnóstico ecológico, y sostener los elementos de una clasificación ecológica que considere además los mecanismos de circulación, el comportamiento químico y las ideas de forma y función en comparaciones ecológicas. Los dos tipos de sistemas lagunares-estuarinos propuestos por Yáñez-Arancibia y Nugent (1976) y analizados ampliamente por Yáñez-Arancibia (1978a, 1978b, 1981, 1986) y Yáñez-Arancibia et al. (1985), se esquematizan en la figura 10. Ambos grupos incluyen diversos datos ecológicos en función de la dinámica del ambiente y el funcionamiento hidrológico estacional. Es interesante destacar que las condiciones climáticas influyen

la hidrología y, consecuentemente, la química del medio ambiente lagunar-estuarino tropical. La morfología de estos sistemas y la cantidad de escurrimiento que reciben, determinan el tiempo y la frecuencia de la comunicación con el mar. Esta idea se desarrolla ampliamente en las secciones siguientes.

Basados en el balance *importación/exportación* de materia orgánica, W. E. Odum et al. (1979) considera—al igual que Yáñez-Arancibia y Nugent (1976) y Yáñez-Arancibia (1978a, 1978b)—, que la geomorfología controla la dinámica del funcionamiento de los sistemas. En estos sistemas no sólo la forma es importante, sino que la magnitud de la marea y el aporte de agua dulce son fundamentales para establecer un balance de importación o exportación (figura 11). Al igual que la clasificación anterior, la comunicación con el mar, directa o a través de un canal, condiciona la ecología y las afinidades entre estos sistemas.

En la discusión se analizan los conceptos de estos autores en paralelo y la similitud de sus diagramas de clasificación (figura 10 y 11).

Un punto de vista interesante es el de Boynton *et al.* (1982) agrupando estuarios dominados por ríos, embahiamientos, lagunas, y fiordos, en un diagrama *ad hoc* considerando las *variables* que controlan la *producción, fitoplanctónica*, como la circulación, geomorfología, aporte de nutrientes, salinidad, latitud y radiación.

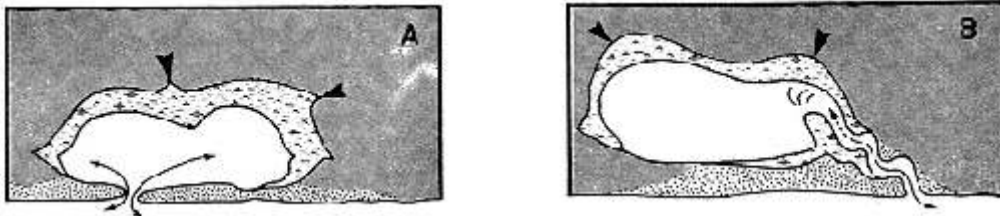


Figura 10. Clasificación de sistemas lagunares-estuarinos por afinidad ecológica en costas tropicales y subtropicales, según Yáñez-Arancibia y Nugent (1976), Yáñez-Arancibia (1978a, 1978b, 1981, 1986), Yáñez-Arancibia et al. (1985). Para la explicación del concepto de diagnóstico ecológico y las afinidades a nivel de ecosistema ver figura 14, 15 y 16. Se señala esquemáticamente la influencia relativa del mar en ciclos de marea. Los Grupos A y B representan el patrón geomorfométrico básico

Para los cuatro tipos de sistemas por ellos considerados el comportamiento de la producción primaria es diferente. En la figura 12, se señalan los espacios discriminados para los sistemas clasificados. Los autores consideran a los fiordos como sistemas con una cuenca profunda en los cuales un umbral de la boca limita su intercambio con las aguas marinas. Las lagunas son consideradas como aquellos sistemas someros, bien mezcladas, de circulación lenta y ligeramente influenciada por el aporte de ríos. Los embahiamientos son más profundos que las lagunas, a menudo estratificados, con gran intercambio con el mar y muy poca influencia de aguas dulces. La categoría de sistemas dominados por ríos incluye diversas depresiones pero todas muestran diversos grados de estratificación y gradientes salinos que varían estacionalmente en función del aporte fluvial. El criterio cuantitativo que utilizan Boynton *et al.* (1982), para la profundidad, salinidad, estratificación, circulación, amplitud de marea, y flujo de ríos, para esta clasificación, están dados en el trabajo de Keefe *et al.* (1981). Lo interesante de la clasificación de Boynton y colaboradores es que incluye directa o indirectamente, los mecanismos primarios que se sabe fehacientemente influyen en la producción fitoplanctónica, siendo esto un reflejo de interacciones de procesos biológicos.

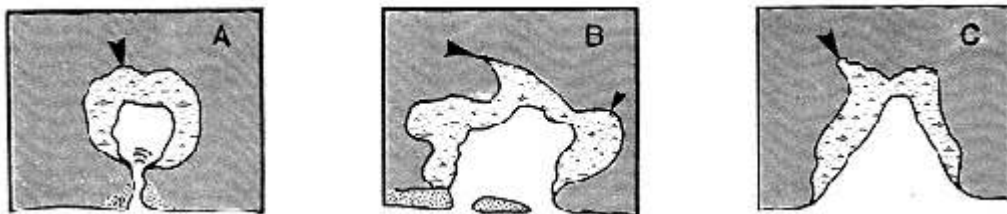


Figura 11. Patrón geomorfométrico de sistemas costeros que influyen el grado de importación/exportación, según E.P. Odum (1980) redibujado de W.E. Odum et al. (1979). La clasificación considera un Grupo A con un canal sinuoso y una depositación interna, B una cuenca con amplia comunicación con el mar y C una cuenca en forma de V cuya abertura y profundidad aumenta hacia el mar.

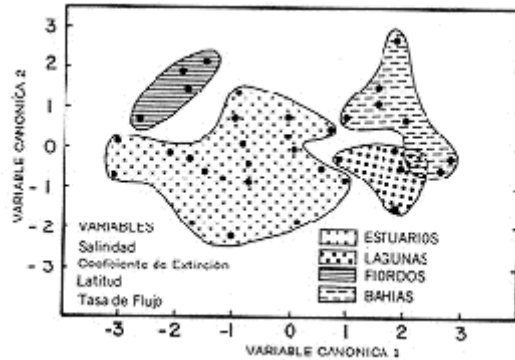


Figura 12. Diagrama que agrupa cuatro tipos de sistemas costeros, como resultado de un análisis de discriminación, según Boynton et al. (1982). Los grupos de cada sector han sido dibujados explicativamente y no representan necesariamente diferencias estadísticas significativas entre los grupos.

Forma geológica y función biológica

La inestabilidad geológica, esto es, morfología, sedimentación, descarga de ríos y variaciones estacionales; junto con las presiones climáticas, influyen directamente la hidrografía, la química y la integración con la estructura de las comunidades biológicas. Nixon (1982) ha discutido el amplio rango en muchas características de las lagunas costeras como, la forma, rangos de temperatura anual, aporte de agua dulce, intercambio con el mar, aportes antropogénicos y utilización por el hombre. Diversos usos del ecosistema lagunar-estuarino dependen de la geomorfología, hidrodinámica y latitud (Lankford, 1978; Vallejos, 1982). Mientras estas diferencias parecen tener una marcada influencia sobre la composición de especies del medio ambiente lagunar-estuarino a nivel mundial, existen también algunas importantes similitudes en la dinámica de nutrientes, el "standing crop" del fitoplancton, la producción primaria anual, y las capturas pesqueras en muchas lagunas (Lasserre, 1979; Day y Yáñez-Arancibia, 1982; Nixon, 1982). Las capturas pesqueras por unidad de área en las lagunas y estuarios, comúnmente son tanto o más altas que las pesquerías costeras más productivas de la plataforma continental. Esto tiene relación directa con los niveles de exportación de materia orgánica y nutrientes, como lo ha analizado recientemente Yáñez-Arancibia (1986).

En cualquier estudio del medio ambiente lagunar-estuarino no es posible describir procesos químicos y biológicos sin una consideración previa de los procesos físicos y la geología que actúan sobre el sistema (Day y Yáñez-Arancibia, 1982; Yáñez-Arancibia, 1986; Day et al., 1987). Por ejemplo, el tiempo de residencia de una sustancia dentro del sistema puede estar relacionada con la tasa de renovación de las aguas ("flushing time"), la salinidad y la temperatura pueden controlar ciertos ciclos biogeoquímicos, el patrón de circulación puede controlar migraciones de peces y camarones, el patrón de sedimentación puede controlar la diversidad de las poblaciones bénticas, y los cambios del nivel del agua de la cuenca lagunar-estuarina puede provocar la depositación de minerales o la solución y dilución de sustancias sumergidas en los bajos de inundación.

El régimen hidrológico de una laguna y estuario está ampliamente determinado por las relaciones entre el aporte de agua dulce y agua de mar dentro del sistema, y su tasa de evaporación. En un modelo simplista, el medio ambiente lagunar-estuarino a menudo se indica como una cuenca que tiene un estado de equilibrio con un flujo de dos capas a través de su boca estuarina (figura 13). Aunque este modelo ilustrado por Day y Yáñez-Arancibia (1982) y Yáñez-Arancibia (1986), es una exagerada y burda simplificación, sirve como una introducción para explicar el patrón básico de salinidad observado en el medio ambiente lagunar-estuarino. Sobre la base de este modelo de circulación de "dos capas", se entiende el desarrollo de un patrón de circulación estuarina cuando el aporte por ríos excede la evaporación, entonces la capa superior de agua de baja salinidad fluye hacia el mar y hay un ingreso al sistema de la capa inferior con salinidades mayores (figura 14).

La naturaleza exacta del patrón descrito en las figura 13 y 14 puede ser considerablemente modificado por el régimen local de mareas, pero en general, el resultado es un transporte neto hacia afuera por la capa superior, otorgando al sistema una salinidad promedio menor que el mar. En ciertas circunstancias en las cuales la evaporación excede al aporte de agua dulce, se desarrolla un patrón de circulación antiestuarina con el flujo marino incorporándose al sistema por la capa superior y la capa inferior se dirige hacia el mar con salinidades hipersalinas, otorgando al sistema salinidades mayores que el valor medio del océano adyacente. Aunque existen estos dos tipos básicos de hidrodinámica del medio ambiente lagunar-estuarino, se considera que muy pocos ecosistemas tienen su medio ambiente en estado de equilibrio.

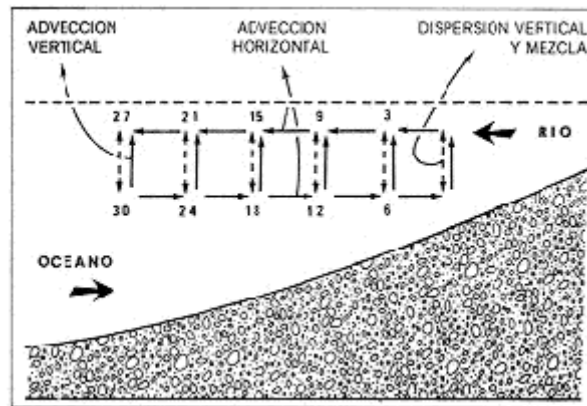


Figura 13. Representación diagramática de la circulación de dos capas en un sistema lagunar-estuarino parcialmente mezclado mostrando el patrón general de mezcla, la difusión, la estratificación y el gradiente de salinidad, según Day y Yáñez-Arancibia (1982).

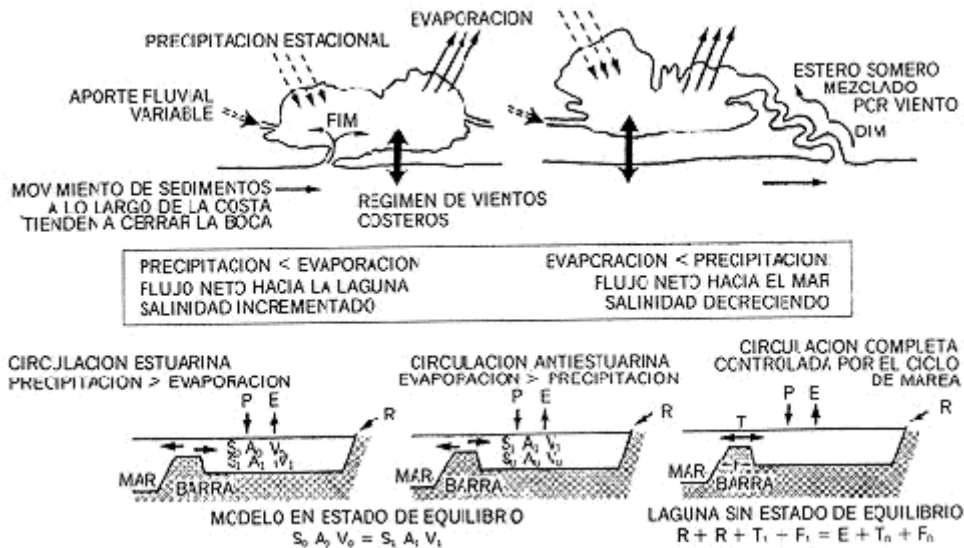


Figura 14. Modelo diagramático que muestra las condiciones variables para un estado de equilibrio con fuerte influencia de mareas (FIM) y una laguna que no está en equilibrio en que la influencia mareal decrece (DIM) en un largo estero. Las lagunas con flujo de dos capas muestran los fundamentos de un modelo de equilibrio con FIM, donde $S_1 A_1 V_1$ representan respectivamente la salinidad, la sección transversal del área y la velocidad del flujo del

agua de mar a través de la boca de la barrera. S_0 , A_0 , V_0 , representan de manera similar las condiciones de reflujo del agua lagunar. La circulación estuarina y antiestuarina son contrastantes con la circulación total donde el agua entra y sale masivamente dependiendo del ciclo de marea. P = precipitación, E = evaporación, R = escurrimiento, T = mareas (T_1 = flujo, T_0 = reflujo), F = filtración a través de la barrera, según Yáñez-Arancibia (1986) y Yáñez-Arancibia et al. (1985).

Esta hidrodinámica y la geomorfología básica condicionan características de hábitats y, por lo tanto, la ecología del ecosistema. Es importante destacar esto, debido a que existen múltiples tipos de sistemas lagunares-estuarinos, y las clasificaciones clásicas geológicas, hidrográficas o químicas, no satisfacen plenamente a los ecólogos y el enfoque de sus estudios.

HACIA UNA CLASIFICACIÓN ECOLÓGICA DEL MEDIO AMBIENTE LAGUNAR-ESTUARINO

A este nivel de la discusión, parece evidente que desde el punto de vista ecológico, las clasificaciones basadas en procesos físicos, no reúnen los requisitos—en un sentido amplio—para abordar estudios ecológicos integrales. Un enfoque que se vincula mejor al análisis de sistemas puede ser la clasificación basada sobre el origen geológico y las estructuras geomorfológicas de Lankford (1977), o las afinidades de hábitats-morfología con la estructura de las comunidades de peces de Horn y Allen (1976), o la geomorfología y afinidad de diagnosis ictoecológicas planteado por Yáñez-Arancibia (1976, 1978a, 1978b, 1981, 1986) y más tarde discutido complementariamente con un punto de vista similar por W. E. Odum et al. (1979). En 1971, aparece un intento pionero multidisciplinario de clasificación ecológica, publicado por F. D. Por. Este último trabajo base su clasificación en el tipo de comunidades biológicas presentes, el régimen de salinidad, y el grado de aislamiento de las lagunas costeras. En esta clasificación, se distinguen diferentes tipos de lagunas pero, aunque el enfoque es útil, introduce un alto grado de complejidad en la descripción de estos sistemas.

El estado actual hidrográfico y químico de cada laguna en un momento dado, refleja su estado de madurez y las presiones físicas que se le imponen. Además del escurrimiento y la evaporación, estas presiones ambientales incluyen mareas, vientos, y la derive de los sedimentos a lo largo de la costa (figura 14), y en sistemas polares la formación de hielo. Otros sistemas similares son: a) las lagunas polares donde el agua puede ser removida o reemplazada por el congelamiento o deshielo y, b) las lagunas completamente aisladas en las cuales la influencia del mar se atenúa a través de un largo estero (Mee, 1979).

Las mareas y la influencia del agua de mar en el medio ambiente lagunar-estuarino están controladas principalmente por el tamaño de la cuenca, el rango de la marea y la morfología de las bocas estuarinas. Una pequeña boca puede causar un fuerte rango de la marea, y una laguna somera puede modificar considerablemente el patrón armónico de la marea incidente, especialmente si el recorrido de la onda de marea incidente es grande comparado con el periodo. Por lo tanto, en una laguna costera típica que ha desarrollado un estero muy largo (figuras 9, 10 y 14), la onda de marea puede ser completamente frenada antes de llegar a la laguna. Este efecto prolonga en extremo el tiempo de flujo. En aquellas lagunas con canales profundos y gran rango de mareas, ésta puede ser observada en todas las áreas. En contraste, en las lagunas que reciben un gran escurrimiento teniendo un pequeño rango de mareas, el ingreso de la marea puede estar suprimido, prevaleciendo condiciones de bajas salinidades. Asimismo, las mareas diurnas pueden provocar otros efectos de mareas como aquellos que resultan de las variaciones cíclicas anuales, las cuales resultan de mareas de periodos muy largos. La combinación del efecto de los vientos, mareas y escurrimiento, junto con la latitud, pueden ser mejor ilustrados con algunos ejemplos. Las variaciones más extremas de hidrografía se presentan en lagunas tropicales y polares, un medio ambiente en el cual las condiciones de equilibrio no parecen estar logradas.

DIAGNÓISIS ECOLÓGICA

El criterio de *diagnosis ecológica* se base en principios y conceptos filosóficos tomados de una ciencia fundamental como es la taxonomía. El punto de partida para cualquier investigación sobre recursos renovables y ecosistemas naturales es la taxonomía. Esta es una de las ciencias más lógicas. Las diferentes especies animales

y vegetales son determinadas y ubicadas en un estatus taxonómico sobre la base de detalladas descripciones y, eventualmente, sobre la base *diagnosis taxonómicas* que representan resumidamente los rasgos merísticos, morfométricos, cariotípicos, fenotípicos, coloración, distribución, etcétera, más sobresalientes y significativos de cada especie. Algunos de estos caracteres pueden fluctuar en un rango de variación de validez específica, de acuerdo a su etapa de desarrollo biológico y a los gradientes clinales que puede presentar la especie en relación a su distribución latitudinal. Cada *diagnosis taxonómica* identifica a una sola especie, de manera que las especies con *diagnosis* parecidas presentan *afinidad taxonómica* y puede ser reunidas en un grupo taxonómico supraespecífico. Esta secuencia se muestra en la figura 15 en un paralelo con los fundamentos para la *diagnosis ecológica*.

Este planteamiento filosófico —desarrollado desde la nomenclatura binomial que propuso C. Linnaeus en el siglo XVIII—, puede ser válido para pensar que un ecosistema representa una unidad como sistema ecológico (figura 15). De manera que con este principio un sistema ecológico es homólogo a una especie, dentro de una región o bioma que equivaldría a un rango supraespecífico manifestando características de estructura y funcionamiento propias o específicas, sobre la base de sus componentes ambientales no vivos y sus componentes bióticos de productores, consumidores y descomponedores. La secuencia de la figura 15 muestra que al final es posible establecer una *diagnosis ecológica* que resume una detallada descripción del sistema. Ecosistemas con *diagnosis* parecidas en tiempo y espacio presentarán *afinidad ecológica* y pueden ser reunidos de algún grupo, a modo de clasificación. Establecer una *diagnosis ecológica* de un sistema natural debe ser prioritario y representa la integración, la interpretación y la síntesis de investigaciones multidisciplinarias. La *diagnosis ecológica* permite tener un panorama real y resumido del medio ambiente. La geomorfología, los mecanismos de circulación, el comportamiento químico, los mecanismos de producción de materia orgánica, y la organización biológica de las comunidades como su estructura trófica, por ejemplo; son fundamentales en el concepto de *diagnosis ecológica*. Es decir, procesos costeros, procesos físicos y procesos biológicos,

AFINIDADES GEOMORFOLÓGICAS, CLIMÁTICAS, HIDROLÓGICAS Y ECOLÓGICAS

El medio ambiente lagunar-estuarino tropical y subtropical presenta grandes variaciones estacionales de salinidad y esto depende de factores como, mareas, el escurrimiento que reciben y la morfología. En la costa del Pacífico de México, Yáñez-Arancibia (1976, 1978a, 1978b, 1981) ha hecho una comparación analítica de dos tipos de lagunas, entre las cuales sobresalen laguna de Chautengo y laguna Tres Palos. Estas lagunas se consideran "lagunas tipos" de numerosas lagunas geomorfológicamente similares (figura 10). Los ciclos anuales de las salinidades de estas lagunas ilustran el efecto tanto de la profundidad como del escurrimiento. Las bocas de ambos tipos de lagunas se cierran al final del periodo de lluvias, puesto que sin un transporte neto de agua hacia el mar, el intercambio de mareas es insuficiente para erosionar el propio acarreo litoral el cual se acumula en la barra. Durante la época de secas la evaporación domina, y su efecto es particularmente pronunciado en las lagunas más someras del *Grupo A*, en el cual Mee (1979) y Mandelli (1981) han encontrado salinidades de hasta 140 ppm. El comienzo del periodo de lluvias produce salinidades muy bajas en ambos sistemas y una extensa acumulación de materiales en las cuencas. La apertura de las bocas facilita una gran descarga de agua, y materiales disueltos y suspendidos, desde las lagunas hacia el mar. Esto es seguido por un periodo en el cual el agua de mar penetra a la cuenca resultando en una salinidad de amplio rango controlada por los procesos de mezcla.

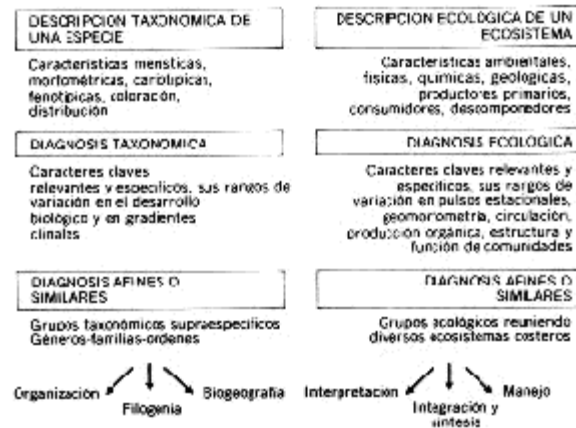


Figura 15. Resumen de criterios generales en un paralelo entre diagnóstico taxonómico y diagnóstico ecológico. Las diagnósticos son unidades de información y las que presentan afinidad son reunidas en grupos a modo de clasificación. Al final se señalan las principales implicaciones que generan las clasificaciones.

Este tipo de sistemas puede ser modificado considerablemente en su dinámica ambiental en las lagunas que presentan un estero muy largo (figura 10). Estos canales atenúan significativamente el efecto de la marea antes de llegar al cuerpo central de las lagunas del *Grupo B*. Durante la época de secas, la evaporación de las lagunas propicia la intrusión de agua de mar que se mueve a lo largo del estero a una velocidad normalmente mayor a un kilómetro por día, con el resultado que el contenido de sal en el sistema va en aumento. Cuando comienza la época de lluvias el frente de agua dulce deriva rápidamente fuera del sistema y la salinidad de toda la laguna empieza a caer por debajo de las 10 ppm. El ecosistema lagunar-estuarino es de esta manera renovado en un tiempo de flujo sólo una vez al año.

Las lagunas costeras con bocas efímeras del Pacífico de México (figura 10), representan un caso típico de clasificación ecológica. Estas lagunas presentan un ciclo de fisiología ambiental con tres periodos ecológicos anuales (figura 16): Período 1 (normal, salinidades de 15 a 34 ppm) de agosto a noviembre, las aguas están en contacto con el mar a través de una boca estuarina abierta permitiendo el intercambio biológico, físico y químico. Período 2 (hipersalino, salinidades mayores de 35 ppm) de noviembre a mayo, las lagunas están aisladas del mar y la evaporación excede el aporte de agua dulce, existe un mínimo volumen de agua dentro de las lagunas. Período 3 (hiposalino, salinidades menores de 15 ppm) de mayo a septiembre, las lagunas están aisladas del mar y el aporte de agua dulce excede la tasa de evaporación, existe un máximo volumen de agua dentro de las lagunas.

El modelo de la figura 16 muestra diagramáticamente los resultados de Yáñez-Arancibia, Mee, y Mandelli. El Período 1 presenta cantidades considerables de materiales disueltos y suspendidos exportados hacia la zona litoral; especialmente fósforo, silicatos, clorofilas y nitrógeno inorgánico. Durante el Período 2 hay una continua utilización fitoplanctónica de nutrientes disueltos, que es compensada por procesos de regeneración dentro de la columna de agua y la interface agua sedimentos. Durante el Período 3 el gran incremento del volumen de la laguna por las lluvias y descarga de ríos, incrementa las cantidades totales de todos los nutrientes disueltos y clorofilas particuladas. El balance cuantitativo de las concentraciones de nutrientes y clorofilas para los tres periodos, se encuentran en los trabajos de Mee (1979), Mandelli (1981) y Yáñez-Arancibia (1986). Las características ecológicas relevantes incluyendo estructura y función de las comunidades de peces, se encuentran en los trabajos de Yáñez-Arancibia (1976, 1978a, 1978b, 1981, 1986).

De acuerdo con este comportamiento ecológico, diversos sistemas lagunares-estuarinos, como los del Pacífico de México, pueden ser clasificados en dos grupos sobre la base de afinidades ecológicas que son consecuencia de similitudes geomorfológicas, climáticas e hidrológicas (figuras 10 y 16). *Grupo A* (laguna tipo Chautengo) donde el ciclo de fisiología ambiental afecta toda la laguna por la influencia directa de la marea; la profundidad promedio es de 1 metro, las temperaturas son de 29 a 35° C, las salinidades de 2 a 125 ppm o más, alta biomasa fitoplanctónica con un máximo de 43×10^6 células por litro, biomasa zooplanctónica máxima de 105 individuos/m³ y 1 g/m³, cantidades variables de detritus, escasos bosques de manglar, biomasa macrobéntica variable y comunidades

nectónicas complejas en diversidad durante el Período 1, comenzando a disminuir la complejidad durante los Períodos 2 y 3; únicamente el 15% de los peces de la comunidad están presentes todo el año indicando la variabilidad del sistema. *Grupo B* (laguna tipo Tres Palos) donde el ciclo de fisiología ambiental afecta únicamente una parte limitada de la laguna: profundidad promedio 2 metros, temperaturas de 29 a 33° C, salinidades de 0 a 4 ppm en la cuenca central y hasta 10 o 15 excepcionalmente en el estero cerca de la boca, muy alta biomasa fitoplanctónica con un máximo de 10^9 a 10^{10} células por litro, biomasa zooplanctónica máxima de 10^3 individuos/ m^3 y $3 \text{ g}/m^3$, grandes cantidades de detritus, numerosos bosques de manglar, biomasa macrobéntica casi ausente, estructura trófica y comunidades nectónicas de relativa complejidad durante el Período 1 en la zona de influencia marina y simple en el resto de la laguna durante este periodo, así como también en toda la superficie lagunar durante los Períodos 2 y 3; el 55% de los peces presentes durante todo el año reflejan la poca variabilidad del medio ambiente. La diversidad ictiofaunística, la producción pesquera de las lagunas, y la complejidad de la estructura trófica están directamente relacionadas con la influencia marina durante el Período 10 y 16. Las condiciones de salinidad determinan un reemplazo de especies dentro de los diferentes niveles tróficos, dentro de cada laguna, y entre las lagunas. Complementariamente, F. Flores-Verdugo y J.W. Day, Jr. (comunicación personal y manuscrito en preparación), han encontrado que sistemas lagunares-estuarinos con conexiones restringidas con el mar ya sea por bocas efímeras o canales sinuosos (i. e., *Grupo B*, figura 10 de la clasificación de Yáñez-Arancibia) tienen un promedio de producción diaria neta de $1.3 \text{ gC}/m^2/\text{día}$: esto es más de dos veces mayor que en sistemas directamente abiertos al mar (i. e., *Grupo A*, figura 10), con una producción promedio diaria neta de $0.51 \text{ gC}/m^2/\text{día}$.

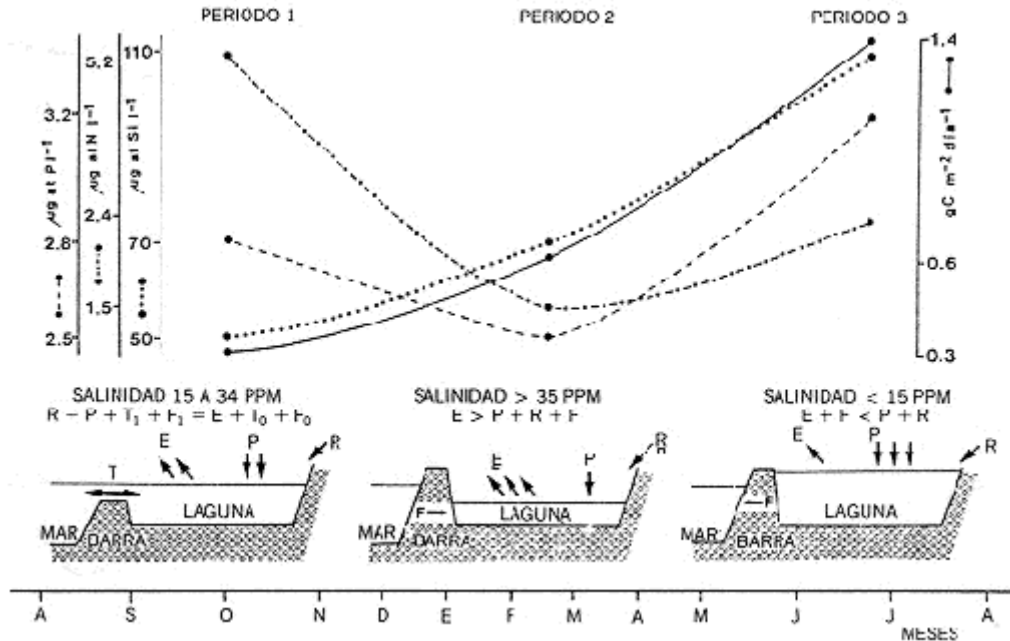


Figura 16. Ciclo de fisiología ambiental que presentan las lagunas costeras con bocas efímeras del Pacífico de México. El modelo indica diagramáticamente las condiciones variables para un estado de equilibrio en tres periodos ecológicos temporales. P = precipitación, E = evaporación, R = escurrimiento, T = mareas (T_1 = flujo, T_0 = reflujos), F = filtración a través de la barrera. Los niveles de la columna de agua y la salinidad están en función de estas variables (Yáñez-Arancibia, 1978b). Para los tres periodos ecológicos se correlacionan el comportamiento del fósforo, nitrógeno, silicio y producción primaria con datos de Mee (1979) y Mandelli (1981). Tomado de Yáñez-Arancibia et al (1985) y Yáñez-Arancibia (1986).

CLASIFICACIÓN ECOLÓGICA Y MANEJO DE LA ZONA COSTERA

La discusión previa ilustra cómo las condiciones climáticas influyen la hidrografía y, consecuentemente, la química del medio ambiente lagunar-estuarino tropical. Se observa también que la morfología de las lagunas y la

cantidad de escurrimiento que reciben, determinan el tiempo y frecuencia de comunicación con el mar. Por otra parte, la pérdida de materiales disueltos y particulados hacia el mar, después de la abertura de las bocas, previenen efectivamente la eutroficación de las lagunas (figuras 10 y 16). Las presiones climáticas en estos sistemas son los factores más importantes que deben considerarse en cualquier planificación de manejo de la zona costera. Sin embargo, es también necesario tener una mejor comprensión del impacto ecológico causado por la apertura de las barreras arenosas sobre las áreas costeras adyacentes, así como también establecer el periodo de tiempo necesario para asegurar el intercambio biológico apropiado. Esta información es esencial antes de decidir sobre la orientación que debe tener el manejo de estos sistemas lagunares-estuarinos.

Las zonas costeras están constantemente bajo la influencia del hombre y es inevitable que la utilización de estas costas provoque cambios a veces irreversibles. La urbanización en aumento, canalización y turismo, puede alterar el ciclo natural de los periodos ecológicos de los ecosistemas descritos. Es posible, utilizando los resultados presentados, predecir las respuestas biológicas a los cambios físicos con un alto grado de aproximación. En las lagunas del *Grupo A* (figura 10 y 16), un incremento en la cantidad de materia orgánica a la forma de *Rhizophora mangle* es exportada a la plataforma continental durante el Período 1. En las lagunas del *Grupo B*, un incremento en la cantidad de materia orgánica, acarreada por los ríos, aportada por los manglares, o por florecimiento del fitoplancton, impactan a las poblaciones faunísticas —especialmente bentónicas— y disminuyen su diversidad y abundancia e incluso desaparecen.

A menudo prevalecen en las lagunas del *Grupo B* periodos de tasas de flujos muy lentos. Bajo estas circunstancias, el aporte orgánico de la agricultura, ríos, hojas de manglares y fitoplancton muerto, crea excesivas demandas del oxígeno disponible en el agua y sedimento. Al mismo tiempo, este material orgánico puede actuar como una fuente de nutrientes que retroalimenta y estimula el crecimiento del fitoplancton. La concentración de nutrientes puede ser muy alta como respuesta al bajo tiempo de flujo provocando un rápido crecimiento algal. Esta productividad algal por sí misma puede contribuir a la disminución del oxígeno disponible. La respiración nocturna y las condiciones reductoras provocadas por la disminución de las algas en proporciones de florecimiento pueden causar que los niveles de oxígeno permanezcan bajos.

El incremento del aporte orgánico en las lagunas del *Grupo B* provoca dos consecuencias primarias: 1) la demanda biológica de oxígeno aumenta, resultando en una pérdida neta de oxígeno para las comunidades bióticas, especialmente durante la noche—menos de 2.0 ml O₂ por litro—, 2) la materia orgánica también actúa como una fuente de nutrientes, especialmente estimulada por los procesos fisicoquímicos que se suceden; la productividad algal es alta y la productividad incrementada puede provocar aumento de la biomasa fitoplanctónica, de clorofitas y de cianofitas, de manera que la productividad secundaria puede ser considerablemente menor que en las lagunas del *Grupo A*.

Parece ser que las lagunas del *Grupo A* no se benefician por un incremento de aporte orgánico, al menos durante los Periodos 1 y 2. Por otra parte, las lagunas del *Grupo B* tienen un gran aporte de materia orgánica—discutido antes—, donde la pérdida neta de oxígeno disponible para la biota y las salinidades muy bajas son limitantes para las poblaciones neotónicas y bentónicas, las cuales son incapaces de tolerar estas condiciones. Puede ser beneficioso una demanda de aguas marinas en las lagunas del *Grupo B* y estimular la exportación de materia orgánica en sedimentación hacia la plataforma adyacente.

En general, el mayor número de especies se presenta durante el Período 1 y decrece considerablemente durante los Periodos 2 y 3, especialmente en las lagunas del *Grupo A*. Puesto que no hay contacto con el mar durante los Periodos 2 y 3, el incremento del número de especies y la biomasa durante el Período 3, se debe a especies de origen dulceacuícola que inciden en estos sistemas durante la época de lluvias. Estas lagunas con bocas efímeras pueden ser típicamente caracterizadas por tener una conspicua heterogeneidad especial y temporal, de la dinámica de sus poblaciones, sucesiones y migraciones.

Clasificar los ecosistemas costeros sobre bases ecológicas tiene implicaciones directas en interpretación de habitat, en integración y síntesis de información, y en manejo y administración de la zona costera (figura 15).

SÍNTESIS DE CLASIFICACIONES ECOLÓGICAS

Los ejemplos presentados en las secciones anteriores muestran el vínculo estrecho de las interacciones biológicas entre la forma que tienen estos sistemas costeros y la dinámica de su funcionamiento. En general, los modelos de equilibrio no son enteramente aplicables a cualquier ecosistema lagunar-estuarino, ya que el contenido de sal de cada sistema está sujeto a fuertes variaciones estacionales. Las variaciones estacionales son marcadas

en los trópicos y subtropicos pero también en latitudes polares. El clima y la descarga fluvial son los principales agentes de variabilidad en las costas cálidas. Aún en condiciones lagunares aparentemente estables, como en las latitudes templadas, el contenido de sal puede variar de un año a otro.

Las presiones físicas predominantes sobre la ecología de las lagunas costeras, parecen cambiar tanto con la latitud como con el grado de aislamiento con el mar. En latitudes áridas y tropicales las presiones predominantes resultan de grandes cambios en salinidad. En las latitudes templadas, las presiones estacionales predominantes son aquellas que hacen variable a la temperatura, mientras que en las latitudes polares las presiones son aquellas provocadas por la variabilidad de la salinidad y formación de hielo. Estas presiones junto con el tiempo de flujo, el aislamiento de los sistemas lagunares-estuarinos, la geomorfología, el clima y la presencia de gradientes y estratificaciones, proveen la matriz física sobre la cual actúan los procesos químicos, biológicos y ecológicos del medio ambiente lagunar-estuarino como ecosistema.

Ahora bien, de las clasificaciones analizadas en este trabajo, algunas de ellas, deben ser nuevamente retomadas para discutir su incidencia en la búsqueda de enfoques ecológicos para comparaciones futuras de ecosistemas. Por ejemplo, el criterio *de fuente de energía* y el *criterio de diagnosis ecológica* pueden quedar mejor comprendidas con un análisis de elementos adicionales.

CLASIFICACIÓN POR FUENTES DE ENERGÍA

En los conceptos de H. T. Odum y Copeland (1972, 1974), existen tres categorías generales de fuentes de energía para el medio ambiente lagunar-estuarino: 1) la energía mecánica del movimiento de las aguas, 2) luz solar y, 3) materia orgánica e inorgánica importada al sistema (figura 8). El movimiento del agua trabaja conectando los componentes tróficos entre el fondo y las aguas superficiales, transportando alimento a los filtradores, reciclando nutrientes y removiendo desechos. Los organismos "ahorran" su propia energía utilizando la energía de la corriente del agua. La energía de la luz solar promueve la fotosíntesis de las plantas las que a su vez soportan las cadenas alimentarias estuarinas. La energía del Sol también aporta calor y así se producen gradientes térmicos. Complementariamente, material orgánico e inorgánico son importados al sistema estuarino por los ríos, escurrimiento terrestre, y desde el mar. La materia orgánica es un alimento adicional producido en el estuario y los compuestos inorgánicos como el nitrógeno pueden incrementar la fotosíntesis.

Por otra parte, hay tres categorías generales de energía de estres para el medio ambiente lagunarestuarino: 1) estrés debido a la energía desviada desde el sistema, 2) estres debido al desorden al azar a microescala y, 3) estres debido a pérdidas forzadas (figura 8). El primero se refiere a aquella energía que puede representar una fuente, pero por alguna razón se pierde. Por ejemplo, la turbidez causada por condiciones naturales o actividades humanas, reduce la cantidad de luz que penetra a la columna de agua y atenúa la fotosíntesis. También cuando un pantano es alterado o aislado, la energía de las corrientes de marea es eliminada y la productividad del pantano se reduce. El segundo tipo de estres sobre el ecosistema y la biota es la que se debe al desorden al azar a microescala, del tipo descrito por la segunda ley de la termodinámica. Este estres es la tendencia inevitable del orden y la complejidad de degradarse en desorden. Si un animal no se alimenta, muere debido a que la comida es la fuente de energía potencial que se use para mantener su orden interno contra la constante tendencia hacia el desorden. La estabilidad contra el desorden al azar es un problema para todos los seres vivos y, particularmente para los organismos estuarinos debido a que gran parte de la energía disponible para mantener el orden, debe ser usada para compensar la gran variabilidad ambiental. El último tipo de energía se refiere a energía potencial, la cual dentro del sistema es removida antes de ser utilizada para el trabajo. Por ejemplo, el flujo constante de los ríos hacia el mar conduce materiales fuera del estuario de manera permanente. Por lo tanto, el movimiento del agua puede ser tanto fuente de energía como estres, y a menudo ambos. Las actividades humanas como contaminación, pesca, y destrucción de pantanos, son también vías por la que la energía potencial se puede perder del ecosistema.

Con este análisis de fuentes de energía y estres, debe reiterarse que cualquier tipo de energía puede ser una u otra, dependiendo del contexto del ecosistema. Muchos organismos estuarinos han desarrollado diversas adaptaciones fisiológicas y de comportamiento para competir con el estres e incluso adaptarlo a sus ciclos biológicos. De esto hay numerosos ejemplos entre los peces, crustáceos y moluscos. Por todo esto, H. T. Odum y Copeland (1972, 1974) consideran que cuando la energía de estres permanece largo tiempo, sea natural o inducida por actividades humanas, las adaptaciones del sistema y la biota están vinculadas y son en un sentido similares sobre un amplio rango latitudinal. En estas circunstancias, los ecosistemas costeros pueden ser clasificados ecológicamente de acuerdo a las características del estres y de las fuentes de energía.

CLASIFICACIÓN POR DIAGNOSIS ECOLÓGICA

Esta clasificación propuesta por Yáñez-Arancibia y Nugen (1976) y Yáñez-Arancibia (1978a, 1978b, 1981), incluye—en términos generales—los conceptos básicos de H. T. Odum y Copeland. Esto se refiere a que la diagnosis ecológica representa el corolario de la integración, la interpretación y la síntesis de investigaciones multidisciplinarias, destacando la geomorfología, los mecanismos de circulación, el comportamiento químico, los mecanismos de producción de materia orgánica y la organización biológica de las comunidades (figuras 10, 15 y 16). Es decir, forma geológica y función biológica.

Algunos estudios selectos pueden ser considerados con este mismo enfoque y, en sus fundamentos, son complementarios con los resultados y la hipótesis de diagnosis ecológica. Por ejemplo W. E. Odum *et al.* (1979), discutieron qué áreas pantanosas con influencia de mareas, pueden exporten o importen materia orgánica particulada, sobre un comportamiento anual, dependiendo de diversos factores geofísicos como la geomorfometría o la cuenca de drenaje de los pantanos, considerando además las magnitudes relativas del rango de la marea y el aporte de agua dulce proveniente del drenaje terrestre (figura 11). La determinación de las condiciones de importador/exportador de un sistema en particular, requiere de medidas continuas en periodos largos, para compensar los eventos climático-meteorológicos irregulares e infrecuentes, midiendo el transporte de partículas sobre el sustrato al mismo tiempo que partículas suspendidas y flotantes.

E. P. Odum (1980) discutiendo el trabajo de W. E. Odum *et al.* (1979), considera que la exportación parece ser estrictamente una consecuencia local que depende de la productividad relativa de las aguas del sistema lagunar-estuarino y de la plataforma, como también de la magnitud del flujo de agua (hacia y desde) entre el estuario y el mar. Esto se ilustra en las figuras 10, 11, 14 y 16. Algunos estuarios exportan mientras que otros importan, y el material exportado o importado, puede involucrar nutrientes, materia orgánica y organismos. Todas las referencias bibliográficas citadas en esta sección del trabajo, sugieren que la geomorfología de los sistemas lagunares-estuarinos y bahías costeras, la amplitud de la marea, y la magnitud del aporte de agua dulce, son los tres factores claves que determinan cuando hay importación o exportación.

Los dos grupos de ecosistemas costeros contrastantes discutidos en las figuras 10, 14 y 16, indican que cuando se presenta un estero o canal entre la plataforma y las aguas interiores, el bloqueo de la marea puede condicionar la presencia de un sutil delta al final del canal y comienzo del cuerpo lagunar principal, como se señala en las lagunas del *Grupo B*. Esto es el reflejo de que es de este tipo de sistemas lagunares estuarinos no son grandes exportadores de energía hacia el mar. En contraste, cuando el sistema es más abierto con un extenso intercambio entre el estuario y las aguas de la plataforma con una amplia influencia marina en la cuenca, se puede esperar una importante exportación hacia el mar, como es el caso de los sistemas que tienen una configuración geomorfológica, esquematizada en las lagunas del *Grupo A*. Normalmente se puede esperar exportación de los estuarios cuando estos son más ricos que las aguas de la plataforma adyacente.

Finalmente destacando los criterios y fundamentos de los trabajos de Horn y Allen (1979), Yáñez-Arancibia y Nugen. (1976), Yáñez-Arancibia (1978a, b, 1981), W. E. Odum *et al.* (1979), Kjerfve (1986) y Hakanson *et al.* (1986); se puede establecer como corolario la siguiente hipótesis de planteamiento teórico para orientaciones futuras.

En el medio ambiente lagunar-estuarino la geomorfología y la dinámica ambiental, modular la interacción e intercambio físico, químico y biológico entre los pantanos y el mar, la producción de materia orgánica, la importación y exportación y, la estructura y función del ecosistema.

AGRADECIMIENTO

Al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (UNAM) las facilidades para desarrollar investigaciones que han conducido a este estudio. Al Dr. John W. Day Jr., de Louisiana State University, la lectura del manuscrito y comentarios que enriquecieron el texto. Al Dr. Björn Kjerfve de University of South Carolina, sus comentarios a las figuras 1 y 7 y opiniones al manuscrito. A la M. en C. Ana Laura Lara Domínguez de la Universidad Nacional Autónoma de México, la lectura del manuscrito y comentarios útiles, además de la elaboración de las figuras.

Reimpreso de Publ. ACIESP, 54(3): 1-36 (1987) con autorización de la Academia de Ciencias de São Paulo, Brasil.

BIBLIOGRAFIA

- BOYNTON, W.R., W.H. KEMP Y C.W. KEEFE, 1982. A comparative analysis of nutrient and other factors influencing estuarine phytoplankton production, p. 69-90. In: Kennedy, V. (Ed.). *Estuarine Comparisons*. Academic Press, Inc., Nueva York, 709 pp.
- CAMERON, W.M. Y D.W. PRITCHARD, 1963. Estuaries, Chap. 2: 306-324. In: *The Sea 2*. Wiley-Interscience, Londres.
- DAY, JR., J.W. Y A. YÁÑEZ-ARANCIBIA, 1982. Coastal lagoons and estuaries: Ecosystem approach. *Ciencia Interamericana*. Ciencias del Mar, OEA, Washington, D.C., 22(1-2): 11-26.
- DAY, JR., J. W., W. G. SMITH, P. R. WAGNER Y W. C. STOWE, 1973. *Community structure and carbon budget of salt marsh and shallow bay estuarine system in Louisiana*. Publ. No. LSU-SG72-W, Center for Wetlands Resources. Louisiana State University, Baton Rouge, LA., 80 pp.
- DAY, JR., J.W., CH. A.S. HALL, W.M. KEMP Y A. YÁÑEZ-ARANCIBIA, 1987. *Estuarine Ecology*. Wiley-Interscience, John Wiley and Sons, Inc., Nueva York, 5W pp. (manuscrito en prensa).
- DYER, K.R., 1973. *Estuaries: A Physical Introduction*. Wiley Interscience, John Wiley and Sons, Inc., Nueva York, 140 p.
- EMERY, K. O. Y R. E. STEVENSON, 1957. *Estuaries and lagoons*. 1. Physical and chemical characteristics, p. 673-693. In: Hedgpeth, J.W. (Ed.). *Treatise on Marine Ecology and Paleoecology*. Geol. Soc. America, Mem. 67, 1.
- EMERY, K.O., R.E. STEVENSON Y J.W. HEDGPETH, 1957. *Estuaries and lagoons*, p. 673-734. In: Hedgpeth, J.W. (Ed.). *Treatise on Marine Ecology and Paleoecology*. Geol. Soc. America, Mem. 67, 1.
- FAIRBRIDGE, R.W., 1980. *The estuary: Its definition and geodynamic cycle*, p. 1-36. In: Olausson, E. y I. Cato (Eds.). *Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries*. Wiley-Interscience, John Wiley and Sons, Inc., Nueva York, 452 p.
- HAKANSON, L., H. KVARNAS Y B. KARLSSON, 1986. *Coastal morphology as regulator of water exchange, a Swedish example*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 23: 873-887.
- HANSEN, D.V. Y M. RATTRAY, JR., 1966. *New dimensions of estuary classification*. *Limnol. Oceanogr.*, 11: 319-326.
- HEDGPETH, J.W., 1957. *Estuaries and lagoons*. 11. Biological characteristics, p. 694-728. In: Hedgpeth, J.W. (Ed.). *Treatise on Marine Ecology and Paleoecology*. Geol. Soc. America, Mem. 67, 1.
- HORN, M.H. Y L.C. ALLEN, 1976. *Number of species and faunal resemblance of marine fishes in California bays and estuaries*. *Bull. South. Cal. Acad. Sci.*, 75(2): 159-170.
- KEEFE, C.W., W.R. Boynton y W.M. Kemp, 1981. *A review of phytoplankton processes in estuarine environments*. Technical report. UMCEES Ref. núm. 81-193 CBL. Chesapeake Biological Laboratory, Solomons, MD 20688.
- KJERFVE, B. (Ed.), 1978. *Estuarine Transport Processes*. The Belle W. Baruch Library in *Marine Science* No. 7. University of South Carolina Press, Columbia S.C., 332 pp.
- KJERFVE, B., 1986. Comparative oceanography of coastal lagoons, p. 63-82. In: Wolfe, D. (Ed.). *Estuarine Variability*. Academic Press Inc., Nueva York, 510 p.
- KJERFVE, B., 1987. Estuarine geomorphology and physical oceanography, Chap. 2. In: Day, Jr., J.W., CH. A.S. Hall, W.M. Kemp y A. Yáñez-Arancibia, *Estuarine Ecology*. Wiley-Interscience, John Wiley and Sons, Inc., Nueva York, 500 pp. (manuscrito en prensa).
- LANKFORD, R.R., 1977. *Coastal lagoons of Mexico. Their origin and classification*, p. 182-215. In: Wiley, M. (Ed.). *Estuarine Processes*. Academic Press, Inc., Nueva York, 2: 428 pp.
- LANKFORD, R.R., 1978. Man's use of coastal lagoons resources, p. 245-254. In: Charnock, H. y G. Deacon (Eds.).

- Advances in Oceanography*. Plenum Press Publishing Corp., Nueva York, 356 pp.
- LASSERRE, P., 1979. Coastal lagoons. Sanctuary ecosystem, cradles of culture, targets for economic growth. *Nature and Resources*, 15(4): 1-21.
- MANDELLI, F.E., 1981. *On the hydrography and chemistry of some coastal lagoons of the Pacific Coast of Mexico*. Proc. Sem. Duke Univ. Mar. Lab. Beaufort NC, USA (UNESCO-IABO), agosto, 1978. UNESCO Tech. Papa. Mar. Sci., 33: 81-95.
- MARGALEF, R., 1968. *Perspectives in Ecological Theory*, The University of Chicago Press, Chicago, Ill., 111, pp.
- MEE, L.D., 1979. Coastal lagoons, p 441-4X9 In Riley, R.P. y R. Chester (Eds.). *Chemical oceanography*. Academic Press Inc. Londres, 7.
- NIXON, S.W., 1980. Between coastal marshes and coastal waters, a review of twenty years of speculation and research on the role of salt marsh in estuarine productivity and water chemistry, p. 43S-525. In: Hamilton, P. y K.B. Mac Donald (Eds.). *Estuarine and Wetlands Processes*. Plenum Press Publishing Corp., Nueva York, 654 pp.
- ODUM, E.P., 1972. *Ecología*. Ed. Interamericana, México, D.F., 639 pp.
- ODUM, E.P., 1980. The status of three ecosystem-level hypothesis regarding salt marsh estuaries: tidal subsidy, outwelling, and detritus-based food chains, p. 485-495. In: Kennedy, V. (Ed.). *Estuarine Perspectives*, Academic Press Inc., Nueva York, 534 p.
- ODUM, H.T. Y B.J. COPELAND, 1972. Functional classification of coastal ecological systems of the United States, p. 9-25. In: Nelson, B.W. (Ed.). *Environmental Framework of Coastal Plain Estuaries*. Geol. Soc. Amer. Inc. Men. 133.
- ODUM, H. T. Y B. J. COPELAND, 1974. A functional classification of coastal system of the United States, p. 5-84. In: Odum, H.T., B.J. Copeland, y E.A. McMahan (Eds.). *Coastal Ecological System of the United States*. The Conservation Fundation, Washington, D.C., 1.
- ODUM, W.E., J.S. FISHER Y J.C. PICKRAL, 1979. Factors controlling the flux of particulate organic carbon from estuarine wetlands, p. 69-80. In: Livingston, R.J. (Ed.). *Ecological Processes in Coastal and Marine System*. Plenum Press Publishing Corp., Nueva York, 548 p.
- PRITCHARD, D.W., 1952. *Estuarine hydrography*. *Advances in Geophysics*, 1: 143-280.
- PRITCHARD, D.W., 1955. *Estuarine circulation pattern*. Proceeding of the America Society of Civil Engineers, 81(717): 1-11.
- PRITCHARD, D.W., 1967. *Observation on circulation in coastal plain estuaries*, p. 37-44. In: Lauff, G.H. (Ed.). *Estuaries*, Am. Assoc. Adv. Sci., Spec. Publ., 87: 757 p.
- SCHELSKE, C.L. Y E.P. ODUM, 1962. *Mechanisms maintaining high productivity in Georgia estuaries*. Proc. Gulf Caribb. Fish. Inst., 14: 75-80.
- STOMMEL, H., 1951. *Recent Developments in the study of tidal estuaries*, Reference núm. 51-33, Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, Mass.
- TEAL, J.M., 1962. Energy flow in the salt marsh ecosystem of Georgia. *Ecology*, 43(4): 614-624.
- VALLEJO, S.M.A., 1982. Development and management of coastal lagoons, p. 397-401. In: Lasserre, P. y H. Postma (Eds.). *Coastal Laggons*. *Oceanologica Acta*. Vol. Spec., 5(4): 462 pp.
- YÁÑEZ-ARANCIBIA, A., 1978a. *Patrones ecológicos y variación cíclica de la estructura trófica de las comunidades neotónicas en lagunas costeras del Pacífico de México*. Rev. Biol. Trop., 26 (Supl. 1): 191-218.
- YÁÑEZ-ARANCIBIA, A., 1978b. *Taxonomía, ecología y estructura de las comunidades de peces en lagunas costeras con bocas efímeras del Pacífico de México*. Centro Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Autón. México, Publ. Esp. 2: 1-306.

- YÁÑEZ-ARANCIBIA, A., 1981. *The occurrence, diversity and abundance of fishes in two tropical coastal lagoons with ephemeral inlets on the Pacific coast of Mexico*. Proc. Sem. Duke Univ. Mar. Lab. Beaufort NC, USA (UNESCO-IABO), agosto, 1978. UNESCO Tech. Pap. Mar. Sci., 33: 233-260.
- YÁÑEZ-ARANCIBIA, A. (Ed.), 1985. *Fish Community Ecology in estuanes and Coastal Lagoons: Towards an Ecosystem Integration*. UNAM-PUAL-ICML. Editorial Universitaria, México, D.F., 646 p.
- YÁÑEZ-ARANCIBIA, A., 1986. *Ecología de la zona costera. Análisis de siete tópicos*. AGT Editor, S.A., México, D.F., 190 pp.
- YÁÑEZ-ARANCIBIA, A. Y R. NUGENT, 1976. Some ecological relationships of nektonic communities in nine coastal lagoons on the Pacific coast of Mexico. 39th Annual Meeting American Society of Limnology and Oceanography. Savannah, Georgia, 21-24 junio, 1976 (abstract and presentation).
- YÁÑEZ-ARANCIBIA, A. , A. L. LARA-DOMÍNGUEZ Y H. ALVAREZ-GUILLÉN, 1985. Fish Community ecology and dynamic in estuarine inlets. Chap. 7: 127-168. In: Yáñez-Arancibia, A. (Ed.). *Fish Community Ecology in Estuaries and Coastal Lagoons: Towards an Ecosystem Integration*. UNAM-PUAL-ICML. Editorial Universitaria, México, D.F., 646 pp.